

Patrick Kähkönen

# Lämmön talteenottojärjestelmät asuinrakennusten korjausrakentamisen suunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

19.4.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Patrick Kähkönen Lämmön talteenottojärjestelmät asuinrakennusten korjauskentämisen suunnittelussa 41 sivua 19.4.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	toimitusjohtaja Kim Lehto yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Tässä insinöörityössä tutustutaan erilaisiin asuinrakennuksiin tarkoitettuihin lämmön talteenottojärjestelmiin. LTO-järjestelmiä katsotaan ilmanvaihdon ja jäteveden lämmön talteenottoon kuin myös lämpöpumppujen hyödyntämistä järjestelmissä. Työssä huomioidaan, että LTO-järjestelmät soveltuvat kaukolämmön rinnaksi, jolloin rakennuksen omaa energiatehokkuutta lisätään.</p> <p>Työn tarkoituksena oli luoda yleiskuva nykypäivänä tarjottavista lämmön talteenoton järjestelmistä yhdeksi tietopaketti korjausrakentamisen hanke- ja toteutussuunnitteluvaiheisiin. Työtä käytettäisiin myös esittelyaineistona taloyhtiöille ja heidän edustajilleen.</p> <p>Insinöörityö on jaoteltu siten, että käydään läpi hieman teoriaa suunnittelun hanke- ja toteutusvaiheista. Tämän jälkeen syvennytään hiljalleen lämmön talteenoton perusteista lämmön talteenottojärjestelmien eri osa-alueisiin. Lopuksi käydään rakennukseen liitettävästä automaatiosta, joka ohjaa rakennuksen järjestelmiä yhdestä paikasta.</p> <p>Insinöörityössä kuvattuja järjestelmiä pystytään yhteensovittamaan keskenään, tällöin luodaan erilaisia hybridilämmitysjärjestelmiä. Lähitulevaisuudessa lämmön talteenoton järjestelmät tulevat yhä yleistymään.</p>	
Avainsanat	LTO, suunnittelu, energia, lämpö

Author Title	Patrick Kähkönen Heat Recovery Systems in Residential Building Renovations
Number of Pages Date	41 pages 14 april 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Engineering of Building services
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Kim Lehto, Chief Executive Officer Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The purpose of this final year thesis is to gather information about heat recovery systems that can be used in residential buildings. The goal was to introduce different heat recovery systems in a single information package.</p> <p>The sources for the project were mostly professional literature. Information about heat recovery systems that could be used in residential buildings was collected first. A mind map was used because it allowed the creation of a logical structure and an overview of the entire work.</p> <p>The study showed that there were several heat recovery systems for residential buildings. Since the main heating system in residential buildings is district heating, a heat recovery system that functions with the district heating system, or a hybrid heating system, would make the building more energy efficient.</p> <p>The thesis is a useful information package at different phases of designing. It can be used as a tool when choosing an additional heat recovery system for a residential building. Most housing cooperatives recognise heat recovery systems as a good solution for present-day residential buildings.</p>	
Keywords	Heat recovery, planning, energy

## Alkusanat

Tämä insinöörityö tehdään Metropolia Ammattikorkeakoululle yhtenä talotekniikan koulutusohjelmaan kuuluvana osana. Tämä työ valmistui huhtikuussa 2018. Suuret kiitokset Insinööritoimisto TeknoPlan Oy:lle vankkumattomasta tuesta ja kannustuksesta sekä mahdollisuudesta tehdä tämä insinöörityö heidän toimitiloissaan. Erityiskiitokset toimitusjohtaja Kim Lehdolle työn aiheesta ja avunannosta kuin myös ohjaavalle opettajalle hyvistä vinkeistä. Kiitokset jokaiselle työtoverille, jotka ovat näyttäneet kiinnostuksensa työtäni kohtaan. Ja vielä kiitokset perheelleni ja lapsilleni, jotka kannustivat opinnoissani näinä viime vuosina.

Helsingissä 19.4.2018

Patrick Kähkönen

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Korjausrakentamisen suunnitteluvaiheet	2
2.1	Hankesuunnittelu	2
2.2	Toteutussuunnittelu	2
3	Lämmön talteenotto	3
3.1	Tekniikka ja perusteet	3
3.2	Levylämmönsiirrin	3
3.3	Pyörivä lämmönsiirrin	4
3.4	Lamellipatteri	6
3.5	Neulalämmönsiirrin	7
3.6	Harjalämmönsiirrin	8
4	Lämpöpumppujärjestelmät	9
4.1	Lämpöpumput ja järjestelmät	9
4.2	Maalämmön lämpöpumppujärjestelmät	10
4.2.1	Porakaivon lämmönkeruuputkisto	11
4.2.2	Maaperän lämmönkeruuputkisto	13
4.2.3	Vesistön lämmönkeruuputkisto	13
4.3	Ilmanvaihdon lämpöpumppujärjestelmät	14
4.3.1	Poistoilmalämpöpumppujärjestelmä	15
4.3.2	Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä	16
4.3.3	Ilma-ilmalämpöpumppujärjestelmä	17
5	Ilmanvaihdon lämmön talteenottojärjestelmät	18
5.1	Ilmanvaihtojärjestelmät ja lämmön talteenotto	18
5.2	Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä	18
5.3	Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä	20
5.4	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä	21
6	Jäteveden lämmön talteenottojärjestelmä	23
7	Energiatehokkuuden lisääminen LTO-järjestelmiin	24

7.1	Aurinkoenergia	24
7.2	Aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmä	25
7.2.1	Aurinkopaneelit	25
7.2.2	Aurinkokeräimet	26
8	Rakennusautomaatio ja hybridijärjestelmä	27
8.1	Automaatiojärjestelmä	27
8.2	Hybridilämmitysjärjestelmä	28
9	Järjestelmien yhteensovitus	29
9.1	Järjestelmien yhteensovittaminen	29
9.2	Käyttöveden lämmittäminen ja lämmitys	29
9.3	Tuloilman lämmitys ja viilennys	29
9.4	Aurinkojärjestelmä osana sähköntuotannossa	30
10	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

## Lyhenteet

ILP	Ilmalämpöpumppu
JVLTO	Jäteveden lämmön talteenotto
LTO	Lämmön talteenotto
MLP	Maalämpöpumppu
PE	Polyeteeni
PILP	Poistoilman lämpöpumppu
UVLP	(Ulko)ilma-vesilämpöpumppu
VILP	Vesi-ilmalämpöpumppu

## 1 Johdanto

Suunniteltaessa energiaa hyödyntäviä laitteistoja tai järjestelmiä käyttötarkoituksiltaan erilaisiin rakennuksiin, kuten asuinrakennukset, toimitilarakennukset tai liikekeskukset, on hyvä tietää, mitä lämmön talteenottojärjestelmää tai -järjestelmiä voidaan hyödyntää esimerkiksi kaukolämmön tai muun LTO-järjestelmän kanssa rinnan.

Tämä insinöörityö tehdään Insinööritoimisto TeknoPlan Oy:lle, joka voi hyödyntää työssä kuvattuja lämmön talteenottojärjestelmiä hanke- ja toteutussuunnittelussa tai esittelyaineistoksi taloyhtiöille ja heidän edustajilleen. Lämmön talteenottojärjestelmä itsessään on laaja käsite, joten työtä on rajattu siten, että se kertoo ainoastaan eri lämmön talteenottojärjestelmistä, lämpöpumpuista ja hybridilämmityksestä.

Insinöörityön tavoitteena on luoda yleispätevä käsite siitä, mitä erilaisia lämmön talteenottolaitteistoja on nykypäivänä. Yleensä LTO-järjestelmän suunnittelua mietitään joko hankesuunnittelu- tai toteutussuunnitteluvaiheessa.

Tämän insinöörityön tarkoituksena on kerätä tietoja erilaisista lämmön talteenottojärjestelmistä yhdeksi tietopaketti. Työssä on kuvattu pääpiirteittäin lämmön talteenoton järjestelmiä, joita käytetään jo olemassa olevissa asuinrakennuksissa. Työssä käydään läpi myös eri järjestelmien sopivuutta keskenään sekä rakennusautomaation hyödyntämistä eri järjestelmien ohjauksessa.



## 2 Korjausrakentamisen suunnitteluvaiheet

### 2.1 Hankesuunnittelu

Hankesuunnitteluvaihe on koko hankkeen tai projektin lähtökohta seuraavalle vaiheelle eli toteutussuunnitteluvaiheelle. Hankesuunnittelussa yleensä perehdytään rakennuksen nykyisiin toimintoihin, kuten ilmanvaihdon toimivuuteen ja lämmitysjärjestelmien toimivuuteen.

Hankesuunnittelussa on myös mahdollisuus teettää esimerkiksi taloyhtiön osakkaille tai asunnoissa asuville kysely, jossa selvitetään tavallisesti asuvan sisäolosuhteet. Sisäolosuhteilla tarkoitetaan huoneistossa asuvan henkilön hyvinvointia. Kyselyllä myös selvitetään mahdollisia puutteita kyseisen huoneiston kohdalla, kuten ilmanvaihdon tai lämmityksen toimivuutta. Tällä kartoitetaan mahdolliset hyvät kuin myös huonotkin puolet.

Hankesuunnittelussa ei kuitenkaan ole tarkoitus etsiä rakennuksen huonoja tai hyviä puolia. Sen tavoitteena on luoda kokonaisuudeltaan toimiva ratkaisu tulevaisuutta ajatellen. Hankesuunnittelua tehtäessä on hyvä muistaa mahdollisen energian hyödyntävien järjestelmien huomioiminen.

### 2.2 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnittelu on useimmiten seuraava vaihe hankesuunnittelusta. Toteutussuunnittelun pohjana käytetään hankesuunnittelussa tehtyä loppuraporttia. Tämä helpottaa huomattavasti sitä, mitä kohteeseen halutaan seuraavaksi teetettävän.

Toteutussuunnitteluvaiheessa voidaan selvittää lämmön talteenottojärjestelmän sopivuutta rakennukselle, mikäli hankesuunnitelma on ollut puutteellinen LTO-järjestelmien osalta. Jo toteutusvaiheen alussa määritellään kohteelle saneeraustapa, eli toteutetaanko kohteeseen viemärisaneeraus, vesijohtosaneeraus, ilmanvaihtosaneeraus, energiasaneeraus vai sähkö- ja telesaneeraus. Näitä erilaisia saneerausmenetelmiä voidaan yhdistellä keskenään, mikäli resurssit antavat myötä.

### 3 Lämmön talteenotto

#### 3.1 Tekniikka ja perusteet

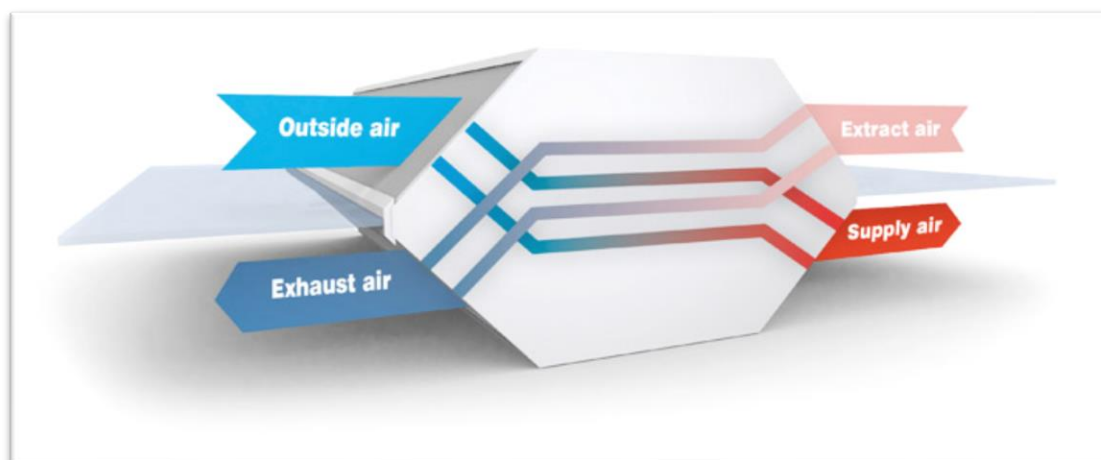
Lämmön talteenotto yksiselitteisesti tarkoittaa sitä, että lämmönlähde luovuttaa lämpöenergiansa, esimerkiksi poistoilman lämpöenergiaa siirretään rakennukseen tulevaan ulkoilmaan, tässä prosessissa ulkoilmaa esilämmitetään lämmönsiirtimessä.

Lämmönsiirtämisen tekniikkana käytetään mm. levylämmönsiirtimiä, pyöriviä lämmönsiirtimiä tai nestekiertoisia lämmönsiirtimiä. Levy- ja nestekiertoisissa lämmön talteenoton laitteissa eivät lämpöenergiaa luovuttava lämmönlähde ja lämpöenergiaa vastaanottava käyttökohde ole kosketuksissa toisiinsa.

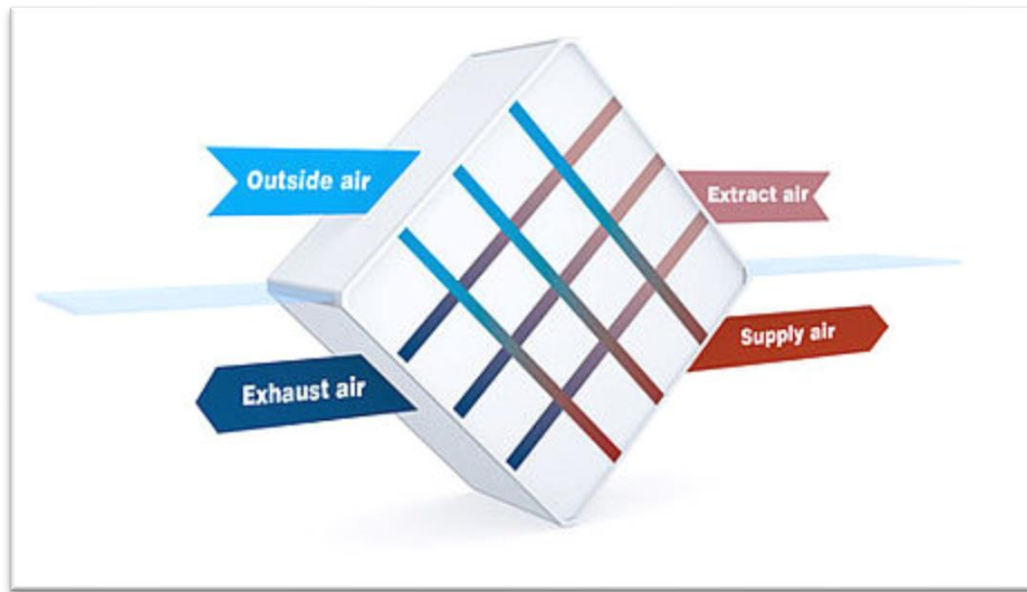
#### 3.2 Levylämmönsiirrin

Levylämmönsiirtimet ovat tavalliset metallista tehtyjä lamelleja, jotka ovat päällekkäin aseteltuja. Levylämmönsiirtimiä voidaan käyttää ilmanvaihdossa lämmön talteenottona. Kuvassa 1 on esitetty ilmanvaihdon vastavirtasiirrin lämmön talteenottolaitteena.

Levylämmönsiirtimiä käytetään joko vastavirta-, ristivirta- tai myötävirtasiirtiminä riippuen käyttötarkoituksesta. Kuvassa 2 on esitetty ilmanvaihdon ristivirtasiirrin lämmön talteenottolaitteena lämmön talteenotosta. Ilmanvaihdossa levyjen välissä virtaa ilma, mutta esimerkiksi kaukolämmössä lämpimän käyttöveden lämmittämisessä virtaava aine on vesi.



Kuva 1. Periaate lämmön siirtymisestä vastavirtaan [1].



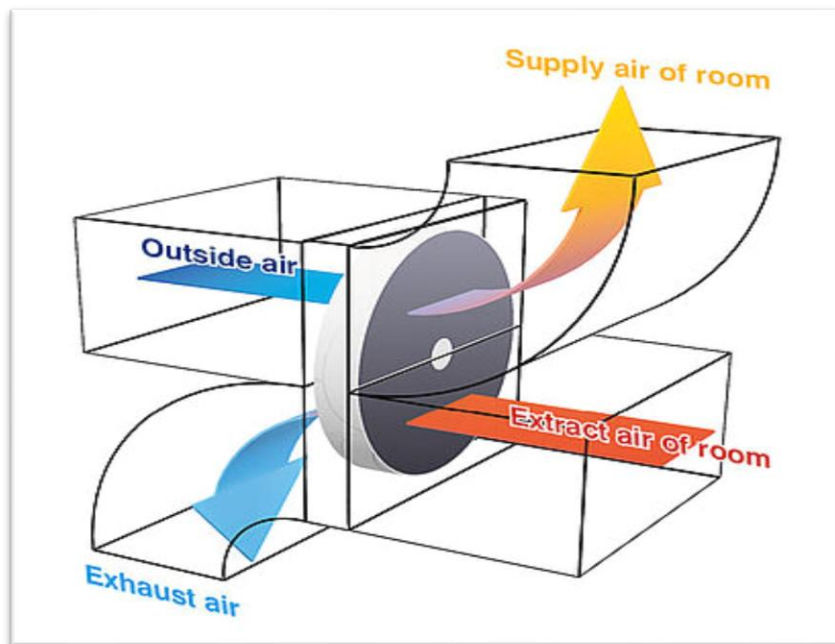
Kuva 2. Periaate lämmön siirtymisestä ristivirtaan [2].

### 3.3 Pyörivä lämmönsiirrin

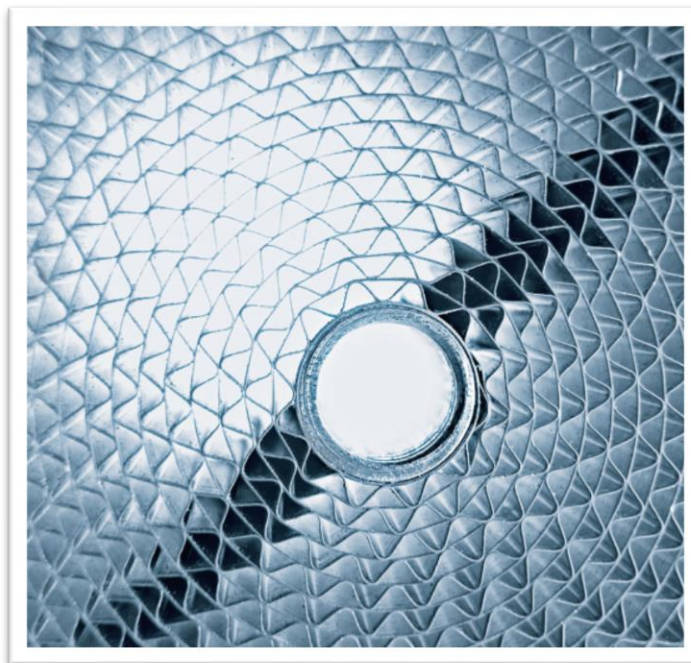
Pyörivässä lämmönsiirtimessä on pyörivä kennosto, joka on puolittain tulopuolella ja puolittain poistopuolella, kuten kuvassa 3 on esitetty. Kennostossa poistoilmavirran lämpöenergia siirtyy tulopuolen ilmavirtaan. Lämpöenergian luovutusprosessissa kennosto lämpenee tai jäähtyy. Kennoston pyörimisnopeus on säädettävissä [3].

Ominaista pyörivissä LTO-laitteissa on kosteudensiirto. Pyörivässä kennostossa poistopuolen ilmavirta luovuttaa jonkin verran kosteutta tulopuolen ilmavirtaan. Kosteudensiirron vuoksi ovat lämmönlähde ja käyttökohde kosketuksissa toisiinsa. Pyörivän LTO-laitteen käyttäminen esimerkiksi sairaaloissa on rajoitettua hygieenisistä syistä, sillä poistoilmassa saattaa olla erilaisia bakteeri-, virus- tai mikrobilajeja.

Kuvassa 4 on esitetty kennosto. Kennostossa aaltoilevat levyt erotetaan toisistaan suoralla levyllä.



Kuva 3. Periaate lämmönsiirtymisestä pyörivästä LTO:sta [3].



Kuva 4. Pyörivän LTO-laitteen kennosto [4].

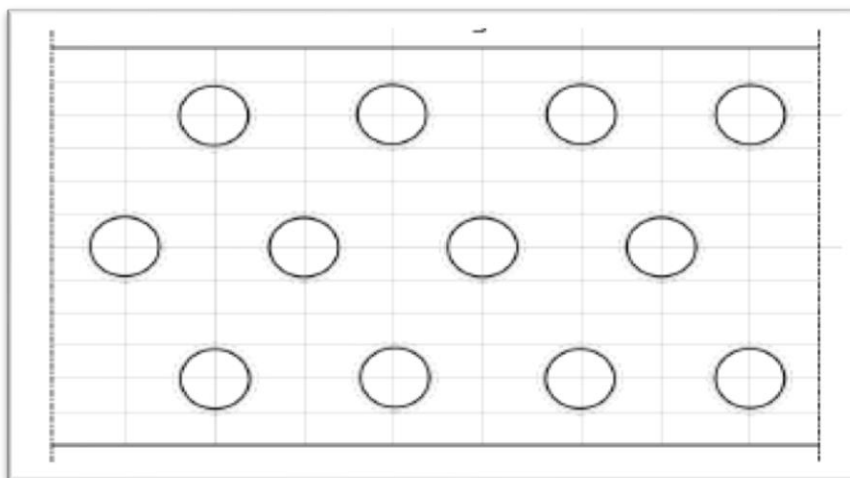
### 3.4 Lamellipatteri

Lamellipatterit ovat lamelleja, joiden lävitse on laitettu kupariputkia, kuten kuvassa 5 on esitetty. Lamellit voivat olla alumiinia tai kuparia. Kuvassa 6 on esitetty kupariputkien sijoitukset lamellirakenteessa. Lamellikokonaisuutta kutsutaan lamellipakaksi.

Lamellipattereita voidaan esimerkiksi käyttää ilmanvaihdossa joko ilman jäähdyttämiseen tai lämmittämiseen. Lamellipatterissa neste kiertää kupariputkessa ja ilma virtaa lamellien välistä.



Kuva 5. Lamellipatteri [5].

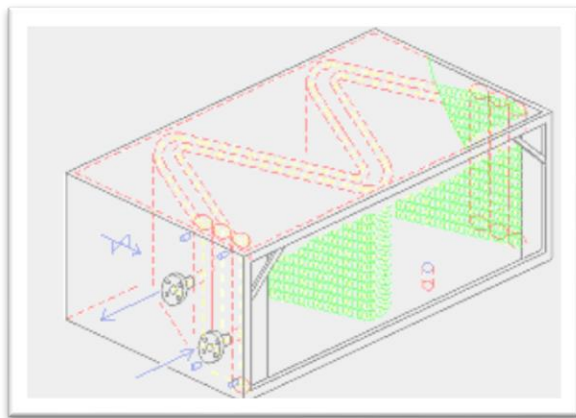


Kuva 6. Lamellipatterin geometrinen rakenne [5].

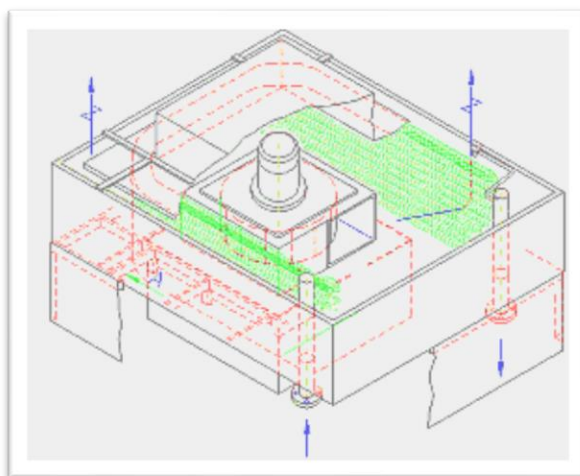
### 3.5 Neulalämmönsiirrin

Neulalämmönsiirrin on Retermia Oy:n valmistama LTO-laite, jossa on patentoitu neulaputki. Neulaputki toimii siirtimessä lämmönsiirtopintana. Neulaputki valmistetaan alumiininauhasta sekä kupari- tai alumiiniputkesta. Retermia Oy itse valmistaa tuotteensa omissa tehtaissaan. Neulalämmönsiirtimessä itse siirrin toimii myös karkeasuodattimena.

Retermia Oy:n neulalämmönsiirtimiä voidaan jaotella kahteen päätyyppiin, aaltomalliseen ja U-malliseen. Mallit viittaavat siihen, miten putket on taivutettu, kuten kuvissa 7 ja 8 on esitetty. Aaltomallista siirrintä käytetään pääosin ilmanvaihdon rakenneosissa ja U-mallista puolestaan ilmanotto- ja ulospuhalluskatoksissa kuin myös huippuimureissa [6].



Kuva 7. Retermia Oy:n aaltomallinen neulalämmönsiirrin [6].



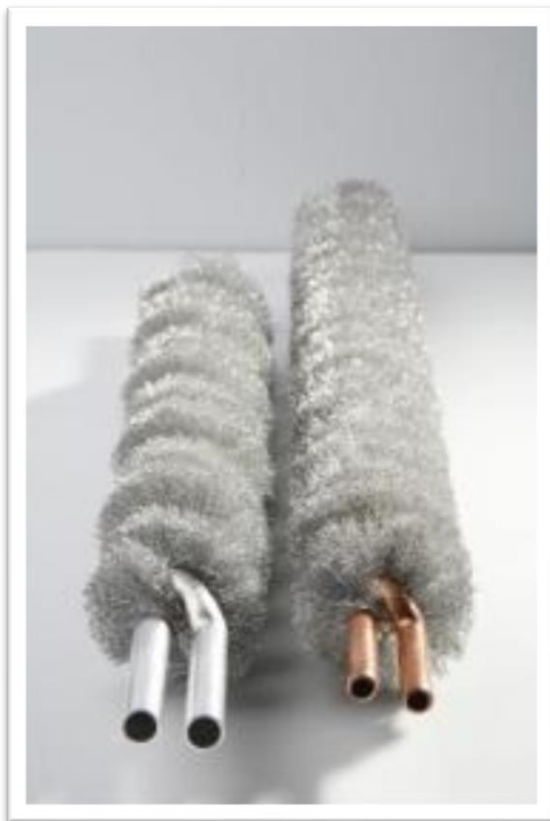
Kuva 8. Retermia Oy:n U-mallinen neulalämmönsiirrin [6].

### 3.6 Harjalämmönsiirrin

Monen vuoden yhteistyössä Teknillisen korkeakoulun kanssa Oy Hydrocell Ltd on kehittänyt uudenlaisen lämmönsiirtimen: harjalämmönsiirtimen. Uutta siirrintyyppiä voidaan käyttää esimerkiksi lämmön talteenoton sovellutuksissa.

Rakenteeltaan harjalämmönsiirrin on elementti, jossa on useita kupari- tai alumiinilankoja, joita on kierretty kahden tai useamman putken väliin. Itse putkimateriaali voi olla kuparia, alumiinia, titaania, ruostumatonta tai haponkestävää terästä. Kuvassa on 9 esitetty harjalämmönsiirtimen rakenne.

Harjalämmönsiirrintä tyypillisesti käytetään ilmanvaihtojärjestelmissä. Lämmönsiirtimen harjasten vuoksi voi harjalämmönsiirtimen asentaa esimerkiksi ilmanvaihdon tulopuolelle ennen suodatinta, sillä kyseinen siirrintyyppi toimii myös esisuodattimena ja -lämmittimenä. Kupariputkissa kulkeva liuos on tyypillisesti vesi-glykoliliuos [7].



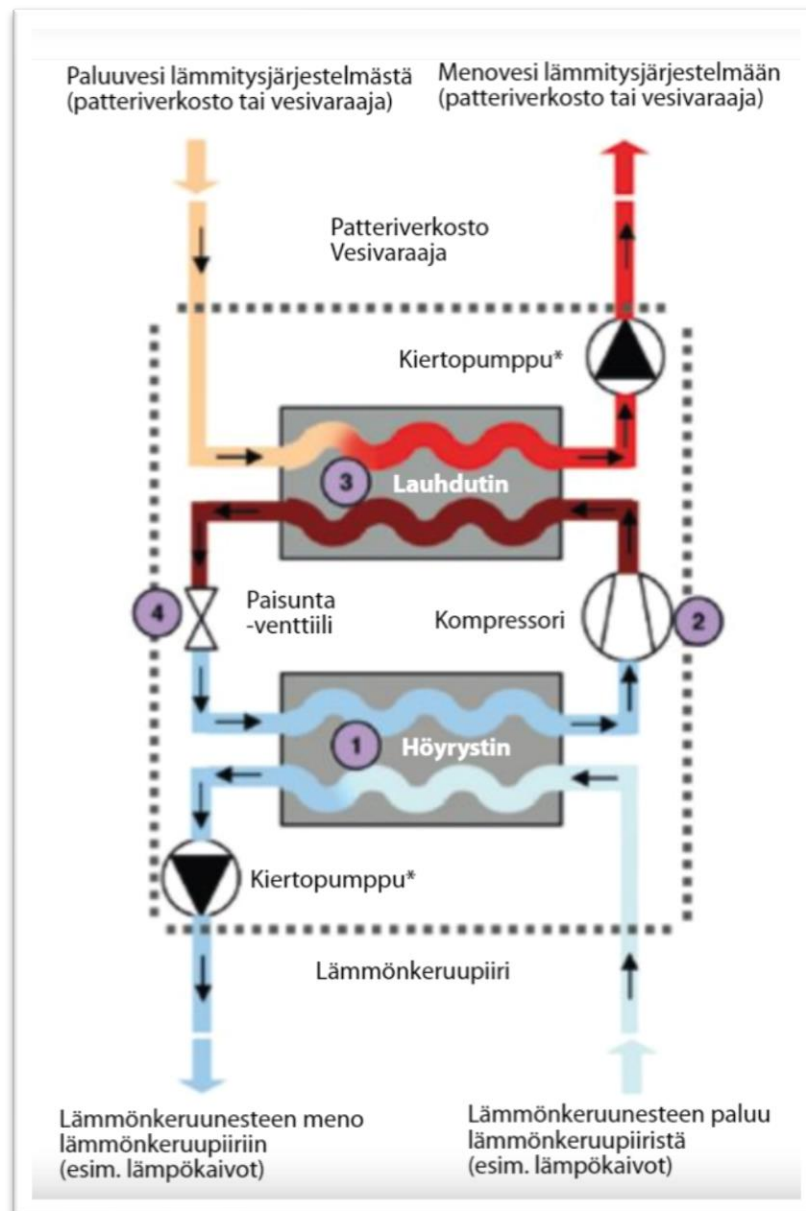
Kuva 9. Oy Hydrocell Ltd:n valmistama harjalämmönsiirrin [7].



## 4 Lämpöpumppujärjestelmät

### 4.1 Lämpöpumput ja järjestelmät

Lämpöpumpputekniikoita vertailtaessa toisiinsa on niiden välinen tekniikka hyvinkin erilaista. Jokaisesta lämpöpumpusta löytyy kuitenkin ns. peruskomponentit. Lämpöpumpun peruskomponentit ovat kompressorin, lauhdutin, paisuntalaite ja höyrystin. Kuvassa 10 on esitetty lämpöpumpun toimintaperiaatetta.



Kuva 10. Havainnollistava kuva lämpöpumpun toimintaperiaatteesta ja lämmönlähteiden ja -kokoiteiden kiertoprosessista [11, s. 117].



Kompressorin tarkoituksena on pitää virtaava aine liikkeessä kuin myös ylläpitää painetaso höyrystin- ja lauhdutinpuolella. Höyrystiminä ja lauhduttimina käytetään useimmiten erilaisia lämmönsiirtimiä. Paineenalennusventtiili on käytetyin paisuntalaite lämpöpumpputähtäjäjärjestelmässä [12, s. 10].

Lämpöpumpun kiertoprosessissa käytetään kylmäainetta. Lämmönlähteiden ja käyttökohteiden virtaavina aineina käytetään ilmaa ja nestettä. Useimmiten lämpöpumpun kiertoprosessissa virtaavana kylmäaineena käytetään vesiglykoliseosta esimerkiksi etyleeniglykolia [13, s. 7].

Lämpöpumppuja käytetään ja sovelletaan moniin eri järjestelmiin. Niitä käytetään esimerkiksi ilmanvaihdon poistoilman lämmön talteenottoon tai maasta saatavan lämpöenergian hyödyntämiseen. Kuvassa 11 on esitetty esimerkki lämpöpumpusta.



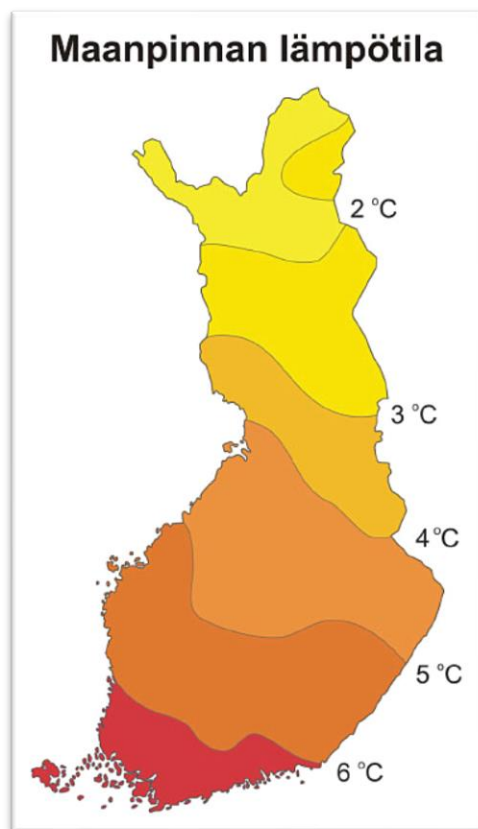
Kuva 11. Gebwell Oy:n kotimainen GEMINI-lämpöpumppu soveltuu suuriin kiinteistöihin [14].

#### 4.2 Maalämmön lämpöpumppujärjestelmät

Geoenergia on auringoenergiaa, jota varastoituu lähinnä maan pinnalle, kallioperään ja vesistöihin. Sitä hyödynnetään lämmitykseen ja viilennykseen. Kuvassa 12 on esitettyä maanpinnan keskilämpötila Suomessa [15]. Lämpöpumppujärjestelmät maalämmössä jaetaan kolmeen osaan, jotka ovat porakaivo, maaperä ja vesistö.

Maanpinnasta tai vesistöistä otetaan energiaa talteen vaaka-asenteisella keruuputkistolla. Geoenergia on myös maan omaa geotermistä lämpöä. Geotermistä lämpöä otetaan talteen porakaivoon asennetusta lämmönkeruuputkistosta. Maalämpöä hyödynnetään rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen. Kaukolämmön rinnalle soveltuva maalämpöpumppu on energiatehokas ratkaisu nykypäivänä.

Maalämpöjärjestelmän keskeisimmät osat ovat lämpöpumppu, siirtoputkisto ja keruupiiri [16, s. 8].



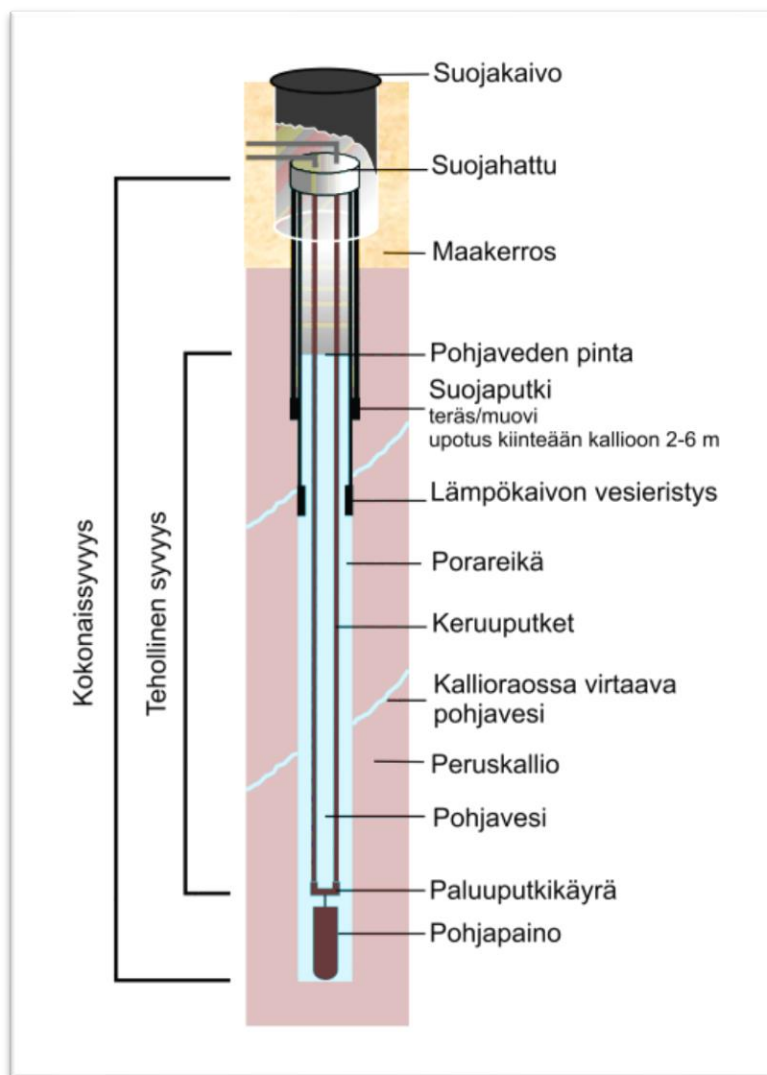
Kuva 12. Maanpinnan vuotuinen keskilämpötila Geologian tutkimuskeskuksen mukaan [15].

#### 4.2.1 Porakaivon lämmönkeruuputkisto

Energiakaivo eli lämpökaivo on Suomessa käytetyin toteutustapa maalämmön hyödyntämiseen. Lämpökaivo itsessään koostuu monista eri osista, kuten kuvassa 13 on esitetty. Sitä voidaan käyttää myös maakylmä-ratkaisuna rakennuksen viilentämiseen. Lämpökaivo lämmönlähteenä on mainio ratkaisu rakennuksille, joilla on pieni tontti.

Lämpökaivon olennaisin osa on kuitenkin porakaivo. Porakaivo on alaspäin porattu reikä, jonka syvyys on useimmiten noin 100 metristä 300 metriin. Reikiä porataan tavanomaisesti noin 1 – 3 kappaletta ja suurempiin asuinrakennuksiin enemmän. Keruuputket ovat materiaaliltaan kestävää PE-putkea.

Porattavien reikien syvyys ja määrä on kuitenkin riippuvainen käyttötarkoituksesta. Reikien määrä lisääntyy ja poraussyvyys pitenee, mikäli halutaan hyödyntää enemmän maalämpöä. Porakaivon reiän halkaisija on 110 – 165 mm.



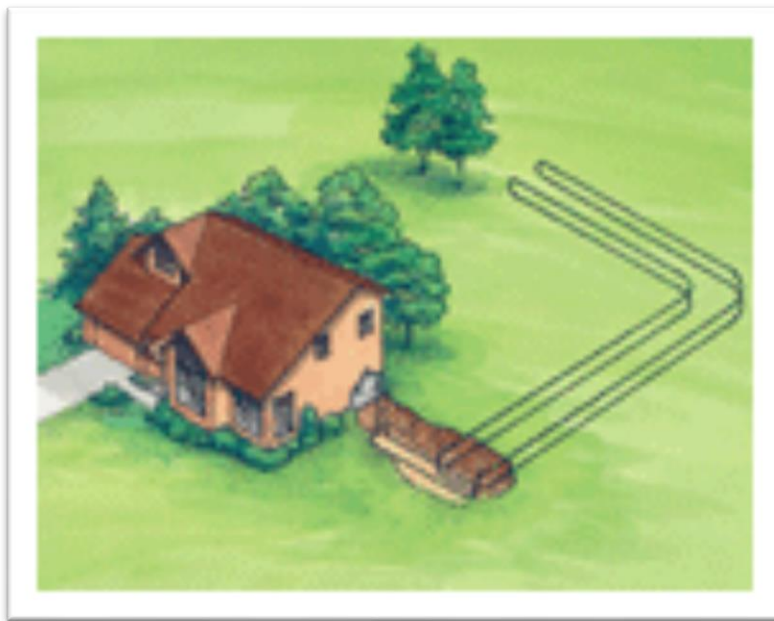
Kuva 13. Lämpökaivon rakenne [16, s. 35].

#### 4.2.2 Maaperän lämmönkeruuputkisto

Maalämpöjärjestelmän toisena vaihtoehtona on maahan vaaka-asentoon levitetty lämmönkeruuputkisto. Järjestelmän putkistoa asennetaan noin 1 metristä 1,5 metriin syvyyteen. Putket järjestellään 1,5 metrin päähän toisistaan. Maaperään asennettava keruuputkisto on esitetty kuvassa 14.

Maa-aineksen ollessa hiekkamaata tai kivistä maaperää, ei vaaka-asenteista lämmönkeruuputkistoa suositella. Kosteaa savimaa on sen sijaan parhaiten soveltuva, sillä se luovuttaa geoenergiaa paremmin kuin kuiva maa [18].

Lämmönkeruupiirin koko on riippuvainen rakennukseen käytettävästä energiamäärästä, eli käytetäänkö maalämpöä rakennuksen lämmittämiseen, käyttöveden lämmittämiseen vai molempia.



Kuva 14. Periaate vaaka-asenteisesta keruupiiristä maanpinnalla [17].

#### 4.2.3 Vesistön lämmönkeruuputkisto

Maalämpöä saadaan myös vesistöistä ja meristä. Vesistöllä tarkoitetaan lampea tai järveä. Vesistöön tai mereen asennettu lämmönkeruupiiri voidaan toteuttaa samalla periaatteella kuin maahan asennettua lämmönkeruupiiriä. Kuvassa 15 on esitetty lämmönkeruupiiri, joka on upotettu veteen silmukoina.

Tärkeimpänä huomiona vesistöön asennettavasta järjestelmästä on asennussyvyys. Talviaikana voi vesistö jäätymä ja aiheuttaa vahinkoa putkistolle. Jäätymisen estämiseksi suositellaan keruuputkiston asennettavaksi vähintään 2 metrin syvyyteen [19]. Lämmönkeruupiiriä ei kuitenkaan suositella asennettavaksi virtaavaan veteen, sillä vesi voi olla alijäähtynyttä.

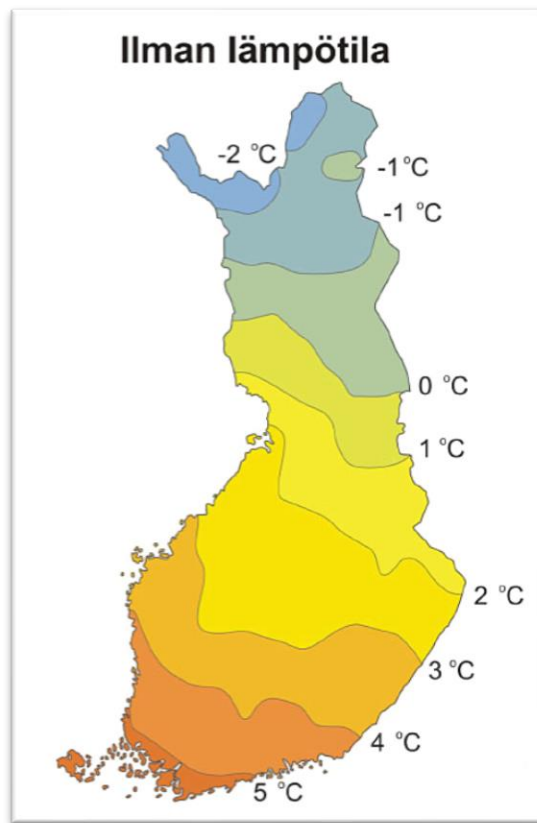


Kuva 15. Periaate vesistöön asennetusta lämmönkeruupiiristä [17].

#### 4.3 Ilmanvaihdon lämpöpumppujärjestelmät

Ilmalämpöpumppua käytetään ilmanvaihdossa joko lämmitykseen tai jäähdytykseen. Ilmalämpöpumppua harvemmin käytetään yksittäisenä järjestelmänä asuinkerrostaloissa verrattaessa pientaloihin. Lämpöpumput ilmanvaihdossa jaetaan kolmeen osaan: poistoilma-, ilma-ilma- ja ilma-vesilämpöpumppuihin.

Ilmanvaihdossa lämpöä otetaan talteen useimmiten poistoilmasta. Ulkoilmasta saadaan myös otettua lämpöä talteen – Suomessa pääosin lämpiminä kuukausina. Kuvassa 16 on esitetty ulkoilman vuotuinen keskilämpötila.



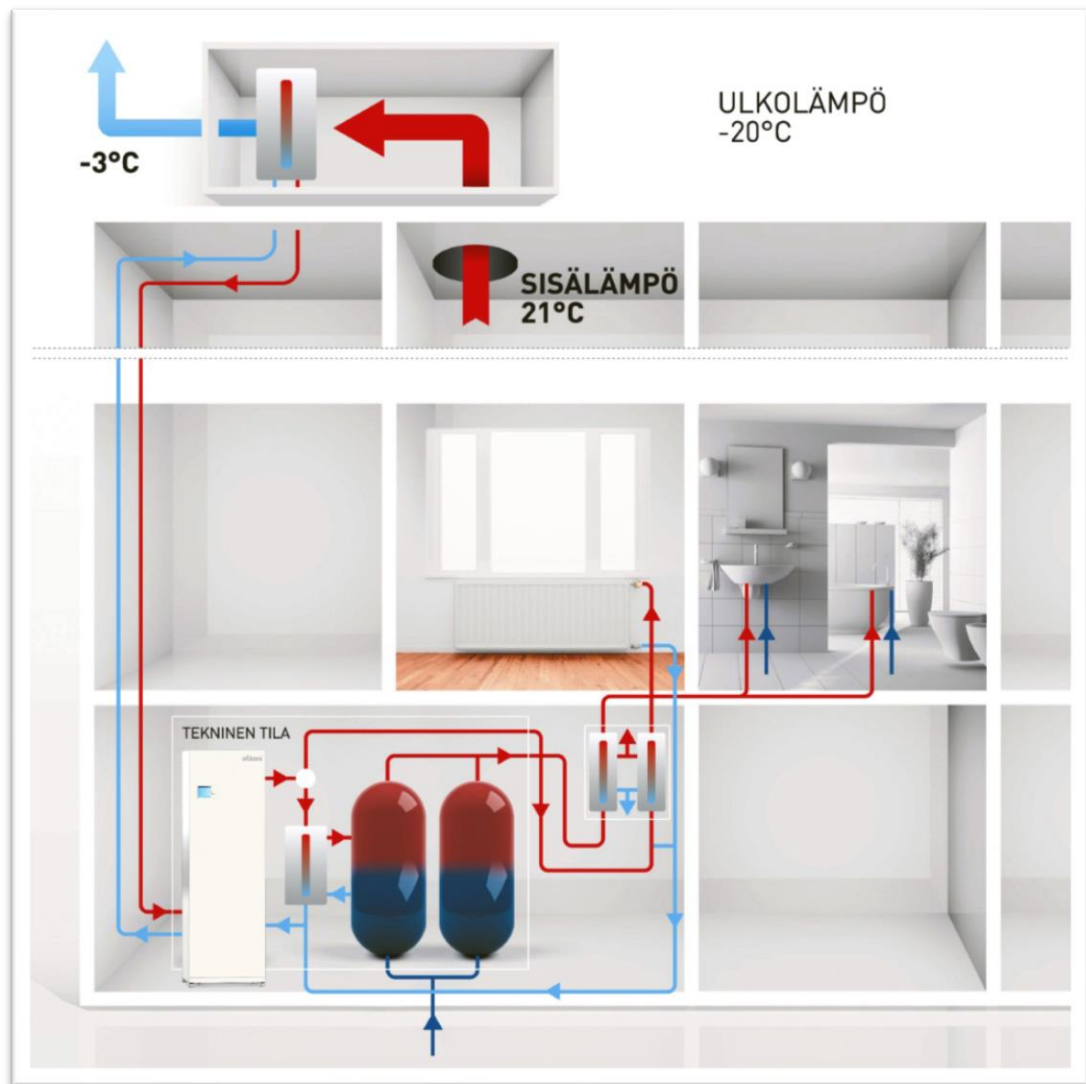
Kuva 16. Ulkoilman vuotuinen keskilämpötila Geologian tutkimuskeskuksen mukaan [15].

#### 4.3.1 Poistoilmalämpöpumpputjärjestelmä

Poistoilmalämpöpumpputjärjestelmä eli PILP-järjestelmä. PILP-järjestelmän tarkoituksena on hyödyntää poistoilmasta saatavaa lämpöenergiaa. Poistoilmasta saatua lämpöenergiaa käytetään joko lämmitykseen, käyttöveden lämmittämiseen tai tuloilman lämmittämiseen [20, s. 10]. Kuvassa 17 on esitetty PILP-järjestelmä, jossa hukkaenergiaa hyödynnetään lämmitykseen ja lämpimään käyttöveteen.

PILP-järjestelmän asentaminen kaukolämmön rinnalle on siinä mielessä edullinen, että rakennus on tällöin omavaraisempi energiankäytön suhteen. Järjestelmän toimivuuden ja hyötysuhteen kannalta on hyvä vaihtaa poistoilmalämpöpumpun suodatin vähintään kerran vuodessa [20, s. 10].

Järjestelmän kriteerinä on, että se tarvitsee toimivan ilmanvaihtojärjestelmän. Ilmanvaihtojärjestelmiä kuvataan luvussa 5.1. Ilmanvaihtojärjestelmät. PILP-järjestelmä koostuu lämpöpumpun lisäksi lämmönvaraajasta, liuosputkistosta ja lämmönsiirtimistä.

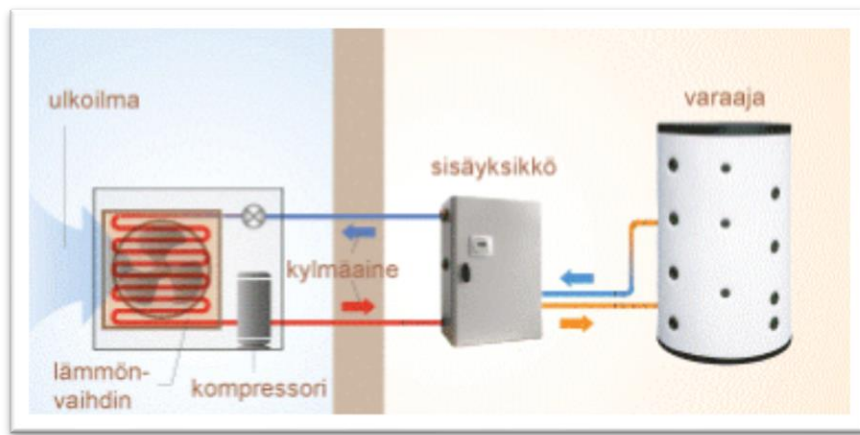


Kuva 17. PILP-järjestelmä hyödyntää poistoilman lämpöenergiaa lämmitykseen ja lämpimään käyttöveteen [21].

#### 4.3.2 Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä

UVLP- tai VILP-järjestelmä eli ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä saa lämpöenergiansa ulkoilmasta [20, s. 9]. Kuvassa 18 on esitetty VILP-järjestelmän osat ja prosessi. Järjestelmää voidaan hyödyntää ainoastaan vesikiertoiseen lämmitykseen, käyttöveden lämmittämiseen tai uima-altaan lämmittämiseen.

Järjestelmä koostuu karkeasti sisäyksiköstä ja ulkoyksiköstä. Varaajan sijasta voidaan käyttää myös hybridivaraajaa. Hybridivaraajassa on varaukset lämpöpumpun lisäksi aurinkoenergian tai muun sähkön- tai lämmitystuotantomuodon hyödyntämiseen.

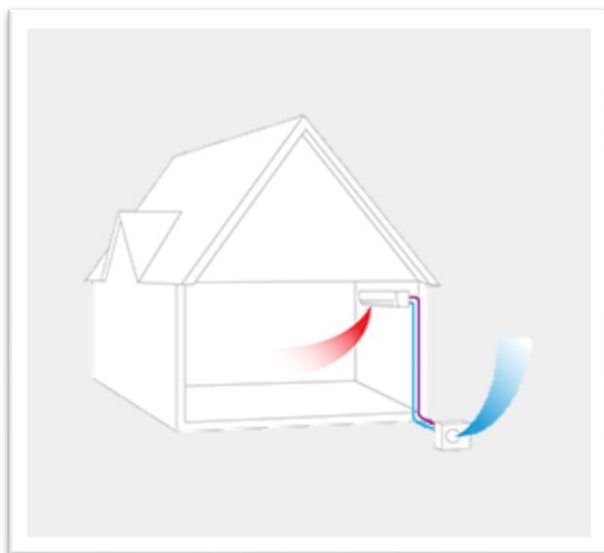


Kuva 18. VILP-järjestelmän komponentit [22].

#### 4.3.3 Ilma-ilmalämpöpumpputjärjestelmä

Ilma-ilmalämpöpumpputjärjestelmä eli ILP-järjestelmä hyödyntää ulkoilmasta saatavaa lämpöenergiaa joko rakennuksen tuloilman lämmittämiseen tai viilentämiseen [20]. ILP-järjestelmällä täydennetään muuta järjestelmää.

Kuvassa 19 esitetty ilmalämpöpumpputjärjestelmästä. VILP-järjestelmän mukaisesti ILP-järjestelmä koostuu ulko- ja sisäyksiköstä. Sisäyksikkö tässä järjestelmässä on esimerkiksi puhallinpatteri.



Kuva 19. Ilma-ilmalämpöpumpun periaatteellinen toiminta [23].



## 5 Ilmanvaihdon lämmön talteenottojärjestelmät

### 5.1 Ilmanvaihtojärjestelmät ja lämmön talteenotto

Vanhoissa asuinkerrostaloissa ilmanvaihto on toteutettu painovoimaisena ilmanvaihtona tai koneellisena ilmanvaihtona. Ilmanvaihdon tarkoitus on pitää asuinhuoneiston, oleskelutilan tai muun vastaavan tilan sisäilmaa puhtaana poistamalla ilman epäpuhtaudet. Ilman epäpuhtaudet ilmenevät esimerkiksi tunkkaisuutena tai hajuina [8].

Ilmanvaihdon toimivuuden kannalta tärkeintä on, ettei järjestelmää suljeta. Ilmanvaihdon venttiilien sulkeminen tai siirtoilmojen puutteellisuus huonontavat ilman poistumista. Lisäksi kanaviston tai hormien epäpuhtaus huonontavat epäpuhtaan ilman poistamista.

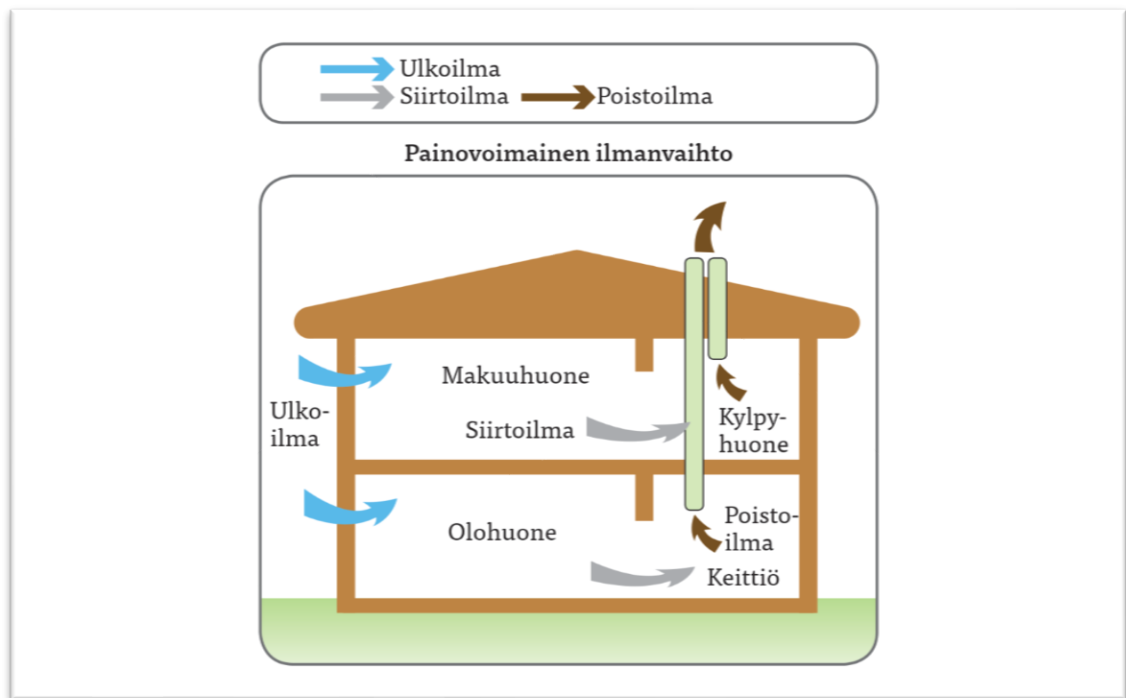
Ilmanvaihtojärjestelmiin voidaan hyödyntää erilaisia tekniikoita. Uuden tekniikan soveltaminen voi olla haastavaa, sillä kaikki asuinrakennukset eivät ole samanlaisia.

### 5.2 Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä

Painovoimainen ilmanvaihto perustuu paine-eroon, joka ilmenee lämpötilaeron ja tuulen aikaansaamana yhteisvaikutuksena. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilma virtaa korkeammasta paineesta matalampaan.

Tuloilma painovoimaisessa järjestelmässä on raitisilma, joka tulee joko rakennuksen julkisivuun läpivientinä asennetusta korvausilmaventtiilistä tai ikkunan karmiin asennetusta karmiventtiilistä. Kuvassa 20 on esitetty painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta.

Vanhoissa asuinkerrostaloissa painovoimainen ilmanvaihto on useimmiten toteutettu ilmanvaihtohormeilla, jotka ovat paikallaanrakennettuja rakenneaineisia hormoneja. Alipaineistuksen parantamiseksi käytetään hormin piipun päähän asennettavaa tuulihattua. Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän tuulihattu on esitetty kuvassa 21.



Kuva 20. Painovoimaisen ilmanvaihdon periaatteellinen toiminta [9].



Kuva 21. Tuulihattu painovoimaiseen ilmanvaihtojärjestelmään [10].

Painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä lämmön talteenoton hyödyntäminen on erittäin vaikeaa, mutta toteutettavissa. Järjestelmää tulisi muuttaa vähintäänkin koneelliseksi poistoilmanvaihdoksi, mikäli lämmön talteenottoa poistoilmasta halutaan hyödyntää.

Hankesuunnitteluvaiheessa vanhat hormit tulisi kartoittaa reititysten sekä hormin kunnon ja toimivuuden osalta. Hormikartoituksella helpotetaan toteutussuunnitteluvaiheessa reitityksien suunnittelua. Tutkimalla asbesti- ja haitta-ainekartoituksella rakenneaineisia hormoneja saadaan selville kohteeseen soveltuva purku- tai korjausmenetelmä.

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmää muuttaessa koneelliseksi poistoilmanvaihdoksi, voidaan hyödyntää vanhoja hormoneja uuden kanaviston reitityksenä tai toteuttaa sisäpuolinen saneeraus. Ilmanvaihtohormin sisäpuolisella saneerauksella tarkoitetaan hormien sisäpuolista korjausta. Ilmanvaihtohormin sisäpuolista saneerausta verrattaessa uuden kanaviston tekemiseen on ilmanvaihdon toimivuuden kannalta epävarmempaa. Uudella kanavistolla voidaan säätää järjestelmä teoreettisesti helpommin kuin sisäpuolisesti saneerattujen hormien.

Painovoimaiseen järjestelmään voidaan asentaa koneellisen poistoilmanvaihdon lisäksi koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Jälkimmäisessä toteutuksessa on tuloilmakanaviston tekemisessä huonona puolena, että uusi kanavisto vie huoneiston nettopinta-alaa sekä mahdollisesti alakatot saattavat aiheuttaa ahtauden tunnetta.

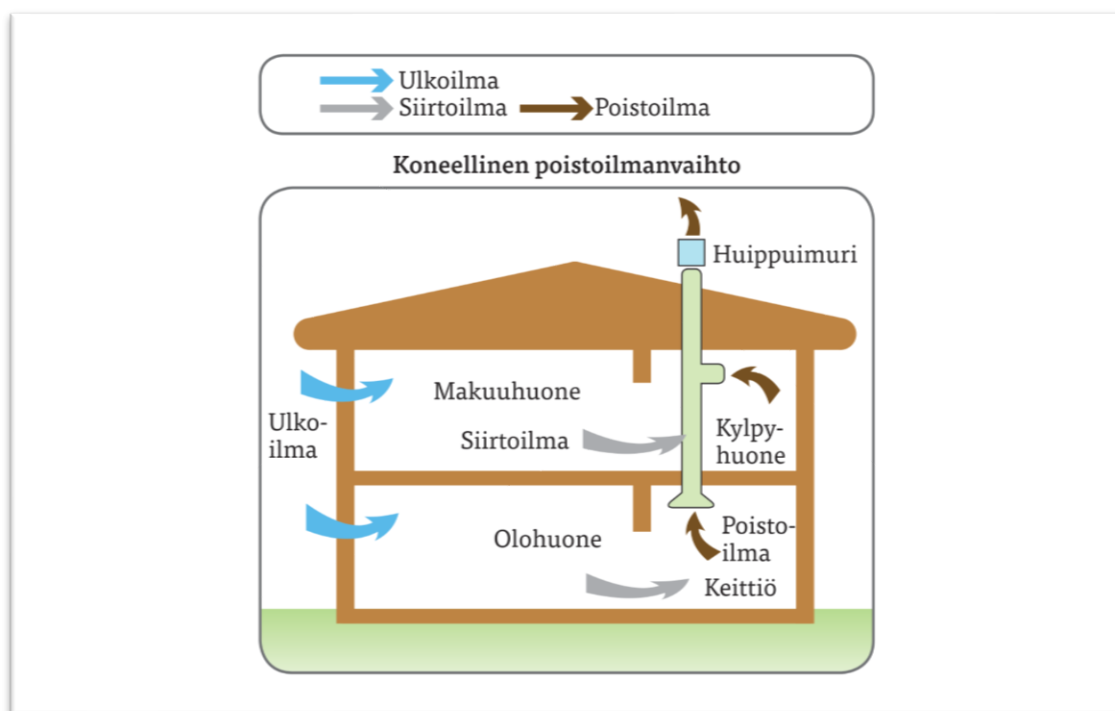
PILP-järjestelmää voidaan hyödyntää vasta, kun painovoimainen järjestelmä on muutettu vähintään koneelliseksi poistoilmanvaihdoksi.

### 5.3 Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ilmaa poistetaan tiloista huippuimureilla tai poistoilmapuhaltimilla. Järjestelmä on periaatteeltaan sama kuin painovoimainen järjestelmä, kuten kuvassa 22 on esitettyinä.

Poistoilmanvaihto toteutetaan joko hajautetusti tai keskitetysti. Hajautettua poistoilmanvaihtoa käytetään matalissa asuinrakennuksissa ja puolestaan keskitettyä poistoilmanvaihtoa korkeissa asuinrakennuksissa.

Raitista ilmaa saadaan korvausilmaventtiilin tai ikkunan karmiventtiilin kautta.



Kuva 22. Koneellisen poistoilmanvaihdon periaatteellinen toiminta [9].

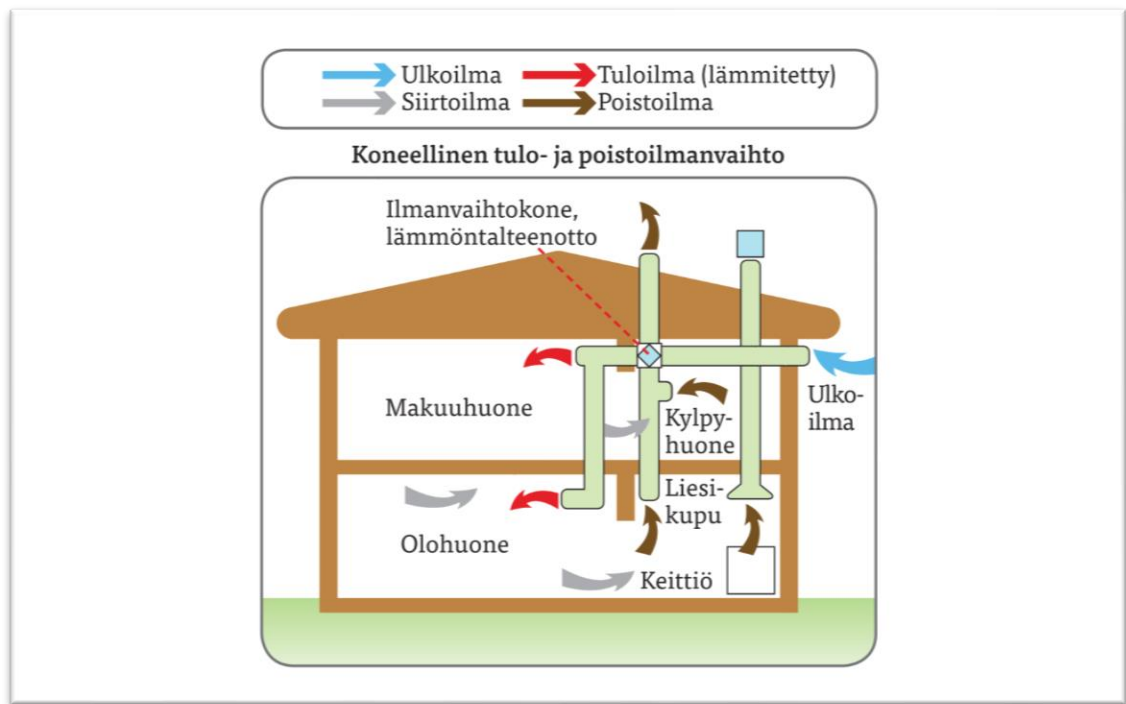
Lämmön talteenottojärjestelmänä koneelliseen poistoilmanvaihtoon voidaan hyödyntää PILP-järjestelmää. Lämpöpumpun voi asentaa ilmanvaihtokoneen tai poistoilmapuhaltimen tilalle.

#### 5.4 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa ovat puhaltimet tuloilmapuolella ja poistoilmapuolella. Tässä järjestelmässä yleisesti on lämmönsiirrin, jota useimmiten ensisijaisesti hyödynnetään ulkoilman esilämmittämiseen. Järjestelmä on esitetty kuvassa 23.

Tässä ilmanvaihtojärjestelmässä käytetään ilmanvaihtoyksikköä, jonka pääosat ovat tulo- ja poistoilmapuhaltimet, suodatin ja lämmönsiirrin. Yleiskielessä ilmanvaihtoyksikköä kutsutaan IV-koneeksi.

Liesikuvun kautta poistettua ilmaa eli likaista ilmaa harvemmin käytetään kuin tavallista huoneiston poistoilmaa ulkoilman esilämmittämiseen. Likaisesta ilmasta kertyy rasvaa lämmönsiirtimeen, mikä puolestaan heikentää lämmönsiirtimen ominaista hyötysuhdetta.



Kuva 23. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon periaatteellinen toiminta [9].

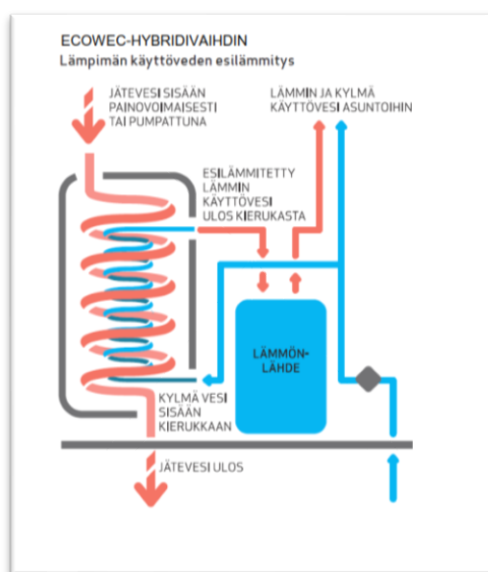
Järjestelmässä on ennestään lämmön talteenotto, jota hyödynnetään ulkoilman esilämmittämiseen. Nykypäivän ratkaisuna tällaiseen järjestelmään on hyvä hankkia IV-kone, jonka lämmön talteenoton hyötysuhde olisi edeltäjänsä huomattavasti parempi eli energiatehokkaampi.

## 6 Jäteveden lämmön talteenottojärjestelmä

Jäteveden lämmön talteenotto eli JVLTO asuinrakennuksissa on aiheena melko uusi. Suomessa jäteveden lämmöntalteenottoa on hyödynnetty pitkään kunnallisissa jäteveden puhdistuslaitoksissa. Puhdistuslaitokset ovat hyödyntäneet jätevedestä saatavaa lämpöenergiaa kaukolämmön tuotannossa. [24].

Asuinrakennuksissa on alettu vuosien mittaan hyödyntämään jätevedestä saatavaa lämpöenergiaa. Lämpöenergiaa hyödynnetään käyttöveden tai rakennuksen lämmitykseen. Jätevesi saa lämpöenergiansa taloudessa käytetystä lämpimästä vedestä ja kodinkoneista. Lämmintä vettä saadaan taloudessa mm. suihkun sekoittajista ja pesuallashanoissa. Myös kodinkoneet, kuten astianpesukone ja pyykinpesukone lämmittävät vettä. Nämä kaikki vedet johdetaan suoraan keskitetysti kunnalliseen viemäriverkostoon.

Jäteveden lämmön talteenoton tekniikkana käytetään joko passiivista järjestelmää tai aktiivista järjestelmää. Passiivisella järjestelmällä tarkoitetaan, että lämpöenergiaa otetaan talteen ainoastaan lämmönsiirtimiä käyttämällä. Aktiivisella järjestelmällä puolestaan käytetään lämmönsiirtimien lisäksi lämpöpumppua [25, s. 11]. Lämpöpumppujärjestelmä vastaa tekniikaltaan vesistöstä saatavaa lämpöenergiaa, joka on esitetty luvussa 4.2.3 Vesistön lämmönkeruuputkisto. Aktiivinen ja passiivinen järjestelmä ottaa lämpöenergiansa jätevedestä. Kuvassa 24 esitetty suppea prosessi lämmön talteenotosta.



Kuva 24. Periaatteellinen prosessi jäteveden lämpöenergian talteenotosta [26].

## 7 Energiatehokkuuden lisääminen LTO-järjestelmiin

### 7.1 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia eli auringon säteilystä saatava lämpö- ja valoenergia. Auringosta saapuvasta säteilystä imeytyy noin 19 % ilmakehään. Pilvet osittain estävät säteilyn pääsyä maahan. Suomessa maahan asti saadaan säteilytehoa vajaat 200 W/m<sup>2</sup>, mutta keväisin voi säteilytehon määrä olla nelin- tai viisinkertainen eli 800 – 1000 W/m<sup>2</sup> [27].

Uusiutuviin energioihin lukeutuvaa aurinkoenergiaa käytetään sähkön- ja lämmön tuotantoon. Kuvassa 25 on esitetty kokonaissäteily määrä Suomessa, jota voidaan hyödyntää, kun aurinkopaneelit tai -keräimet ovat optimaalisesti kallistettuja ja suunnattuja [28].



Kuva 25. Vuotuinen kokonaissäteily määrä Suomessa [29].

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää asuinrakennuksissa kahdella tavalla: aurinkokeräimillä ja -paneeleilla.

## 7.2 Aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmä

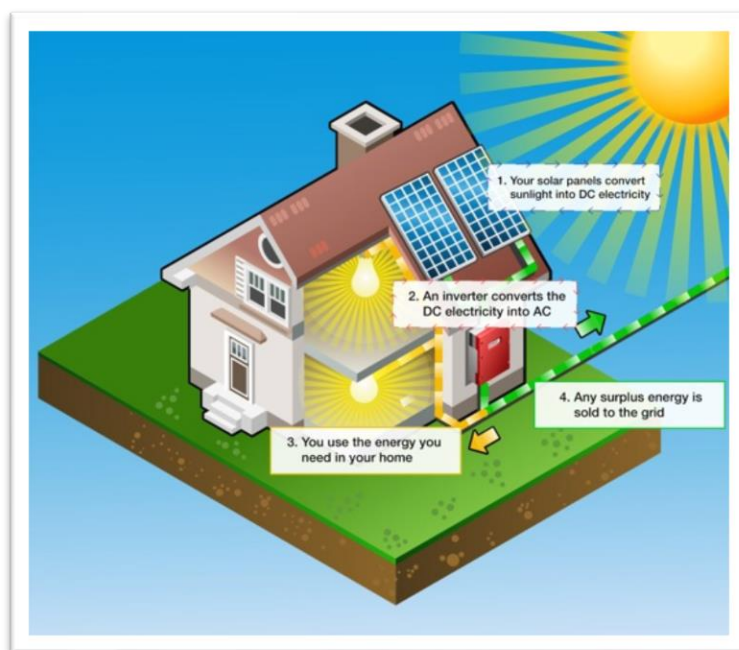
Aurinkojärjestelmät jaotellaan kahteen luokkaan: sähköä tuottavaan järjestelmään ja lämpöä tuottavaan järjestelmään. Sähköä tuottava aurinkojärjestelmä kasataan aurinkopaneeleista ja puolestaan lämpöä tuottava järjestelmä kasataan aurinkokeräimistä.

### 7.2.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneeleilla tuotetaan sähköä kiinteistöön tai laitteistolle. Aurinkopaneelit ovat Suomessa useimmiten kattoon tai julkisivuun asennettuja. Kuvassa 26 on esitetty aurinkosähköjärjestelmän toimintaa ja sitä, mihin aurinkosähköä voidaan käyttää.

Aurinkosähköjärjestelmää voidaan käyttää monella eri tavalla, kuten rakennusten valaistukseen, sähköauton lataamiseen, sähkölaitteisiin tai vaihtoehtoisesti voidaan myydä tuotettu sähkö sähköyhtiölle. Aurinkosähköä voidaan myös ottaa talteen akustoihin.

Aurinkosähköjärjestelmä on erittäin soveltuva muun järjestelmän, kuten lämpöpumppujärjestelmän kanssa. Huomioitava asiana paneeleista on sen asentaminen. Suuntaamalla ja kallistamalla aurinkopaneelit oikein aurinkoa vasten, voidaan hyödyntää paneeleja parhaiten.



Kuva 26. Sähköä tuottava aurinkopaneelijärjestelmä [30].



Aurinkosähköjärjestelmiin on nykypäivänä mahdollista liittää tekniikka, joka mahdollistaa paneelien liikkumisen auringon mukaan. Uusimpina aurinkoteknologioina ovat integroitavat paneelit ikkunoihin, sälekaihtimiin tai kankaisiin [27].

### 7.2.2 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräin on kattoon tai muuhun vastaavaan pintaan asennettava taso- tai tyhjiöputkikeräin. Aurinkolämpöjärjestelmät ovat nestekiertoisia järjestelmiä, joten ne soveltuvat erittäin hyvin rakennuksen käyttöveden lämmitykseen, nestekiertoiseen lattialämmitykseen tai rakennuksen lämmittämiseen. Kuvassa 27 on esitetty aurinkolämpöjärjestelmä.

Aurinkolämpöjärjestelmän voi yhteensovittaa esimerkiksi lämpöpumppujen kanssa.

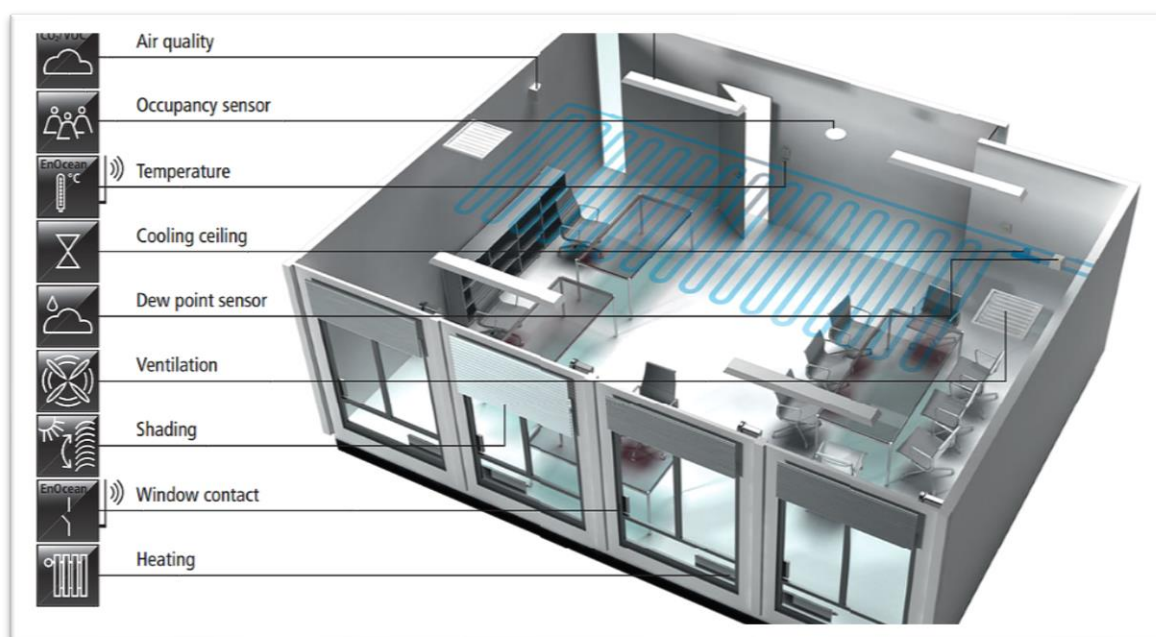


Kuva 27. Lämpöä tuottava aurinkokeräinjärjestelmä [31].

## 8 Rakennusautomaatio ja hybridijärjestelmä

### 8.1 Automaatiojärjestelmä

Automaatiojärjestelmällä tarkoitetaan laitteistokokonaisuutta, jonka päätehtävänä on ohjata esimerkiksi asuinrakennukseen liitettyjä järjestelmiä tarpeenmukaisesti. Automaatiolla ohjataan esimerkiksi käyttöveden lämmitystä, ilmanvaihtoa, valaistusta tai muuta vastaavaa rakennukseen liitettyä järjestelmää, kuten kuvassa 28 esitetty.



Kuva 28. Rakennusautomaatiolla voidaan ohjata samanaikaisesti monta eri järjestelmää [32].

Rakennusautomaatiolaitteiston ohjauskeskukseen on määritelty asetusarvot, joiden mukaan automatiikka säättää järjestelmää. Ilmanvaihtojärjestelmissä automatiikkaa käytetään mm. tilaan tulevan ilmamäärän kuin myös tilasta poistuvan ilmamäärän ohjaamiseen.

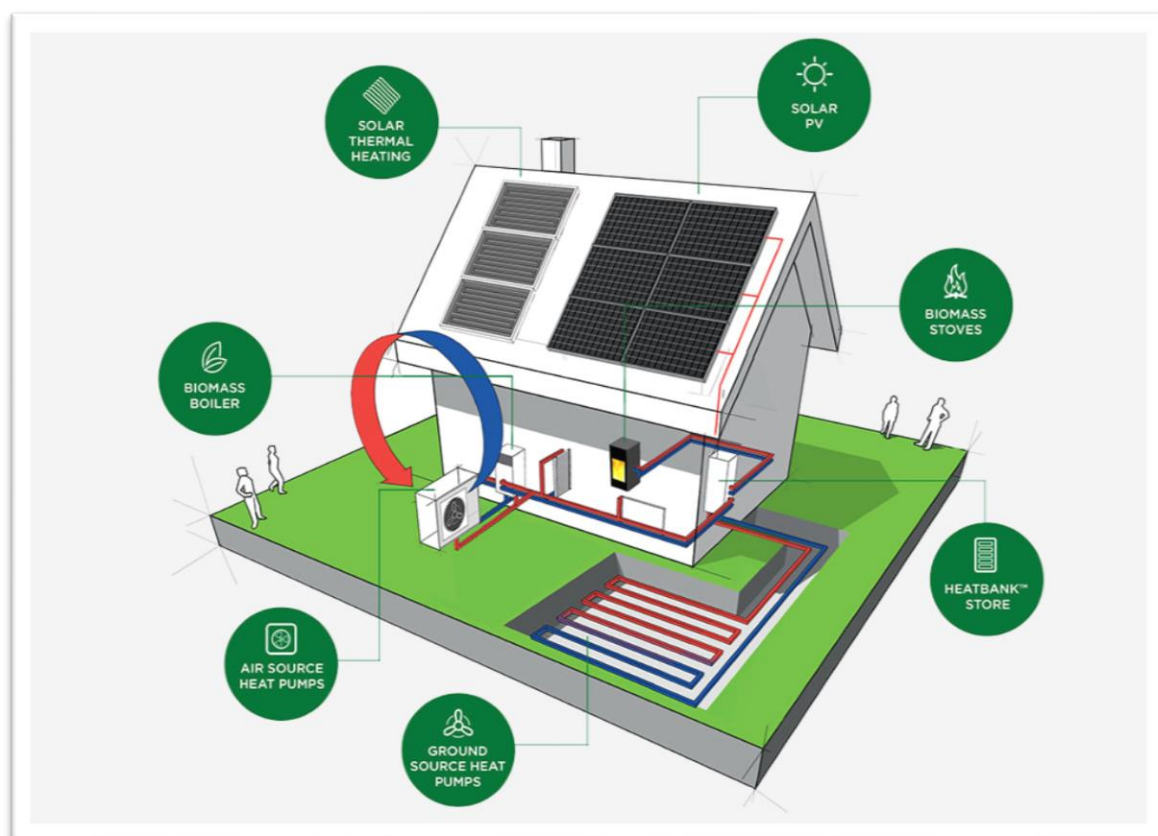
Rakennusautomaatiosta hyötyy sekä rakennus, että sen käyttäjä, sillä järjestelmä oikein asennettuna ja suunniteltuna säästää energiaa. Automaatiikalla saadaan myös häiriötilanteet paikannettua ajoissa, jolloin korjaustoimenpiteetkin ovat ajallisesti nopeita sekä välttyään turhilta käyttökatkoksilta [33, s. 28 – 29].

Automaatiojärjestelmän yhtenä kohokohtana on sen järjestelmän ohjaaminen. Automaatiikkaa voidaan ohjata monella eri tavalla. Menetelminä esimerkiksi paikan päällä tai etäohjauksella tietokoneella tai mobiililaitteella.

Nykypäivän rakennusautomaation tekniikalla ohjataan useita lämmitysjärjestelmiä kerrallaan, tällaista järjestelmää kutsutaan hybridilämmitysjärjestelmäksi.

## 8.2 Hybridilämmitysjärjestelmä

Hybridilämmitysjärjestelmä on vähintään kahden eri lämmitysjärjestelmän kokonaisuus. Kuvassa 29 on esitetty hybridijärjestelmä, johon on yhdistetty mm. aurinkojärjestelmät, maalämmönkeruupiiri, ilmalämpöpumppu, vesikiertoinen tulisija, biomassakattila ja lämmönvaraaja.



Kuva 29. Hybridijärjestelmä on kahden tai useamman lämmitysjärjestelmän kokonaisuus [34].

## 9 Järjestelmien yhteensovitus

### 9.1 Järjestelmien yhteensovittaminen

Tässä työssä kuvattuja järjestelmiä voidaan yhteensovittaa keskenään. Tuloksena saadaan useita erilaisia hybridilämmitysjärjestelmiä. Huomioitava on, miten kyseinen järjestelmä soveltuu rakennukseen tai täyttääkö rakennus tarvittavat kriteerit järjestelmälle.

Lisäjärjestelmien hankinta vanhoihin asuinrakennuksiin on syytä selvittää ensin esimerkiksi hankesuunnittelulla tai tiedustelemalla suoraan kyseisen järjestelmän valmistajalta. Kaukolämmön rinnalle esimerkiksi aurinkolämpöjärjestelmä lämmitykseen tai käyttöveden lämmittämiseen tarkoittaisi muun muassa sitä, että rakennuksen ostoenergian määrä vähenisi.

Jokaisella järjestelmällä on hintansa, mutta myös takaisinmaksuaika eli milloin järjestelmä maksaa itsensä takaisin. Takaisinmaksuajan jälkeen on jokainen sentti voittoa.

### 9.2 Käyttöveden lämmittäminen ja lämmitys

Käyttöveden lämmittäminen tai lämmitys muilla järjestelmillä kuin kaukolämmöllä on mahdollista. Käyttövettä ja lämmitystä lämmittäviä järjestelmiä ovat mm.

- maalämmön lämpöpumppujärjestelmistä porakaivo, maapiiri ja vesistöpiiri
- ilmanvaihdon lämpöpumppujärjestelmistä PILP- ja VILP-järjestelmä
- jäteveden lämmön talteenotto
- aurinkojärjestelmistä aurinkolämpöjärjestelmä.

### 9.3 Tuloilman lämmitys ja viilennys

Tuloilmaa asuinrakennuksissa lämmitetään useimmiten nestekiertoisella lamellipatterilla tai sähkövastuksilla. Ilman viilentämisellä on periaate sama kuin lämmittämisessä. Sähkösaannissa voidaan hyödyntää aurinkosähköjärjestelmää. Muitakin järjestelmiä voidaan hyödyntää tuloilman lämmitykseen tai viilennykseen. Näitä ovat mm.

- Maakylmäjärjestelmä liitettynä nestekiertoiseen järjestelmään ja käytetään lamellipatteria
- VILP-järjestelmä (vain ilman lämmittämisessä).

#### 9.4 Aurinkojärjestelmä osana sähköntuotannossa

Aurinkosähköjärjestelmällä voidaan hyödyntää kaikkia lämmön talteenoton järjestelmiä. Auringosta saadulla sähköllä saadaan järjestelmän laitteet toimimaan. Sähköä käytetään järjestelmissä mm. pumpuissa, kompressoreissa, rakennusautomaation laitteistoissa ja puhaltimissa.

Mikäli aurinkojärjestelmän sähköntuotanto on niin suuri, että se kattaa koko laitteiston sähköntarpeen, voidaan sähköä käyttää muihin laitteistoihin tai rakennuksen järjestelmiin. Vaihtoehtoisesti ylituotettu sähkö voidaan myydä sähköverkkoon sähköyhtiölle.

.

## 10 Yhteenveto

Tämä työ tehtiin Insinööritoimisto TeknoPlan Oy:lle. Työn tavoitteena oli kerätä tietoa erilaisista lämmön talteenottojärjestelmistä ja energiaa hyödyntävistä järjestelmistä asuinrakennuksissa. Insinööriä voidaan pitää yhteenvetona LTO-järjestelmistä, joita käytetään nykypäivänä itsenäisenä järjestelmänä ja kaukolämmön rinnalla. Yhden tai useamman lämmön talteenottojärjestelmän yhdistäminen keskenään on mahdollista.

Työssä perehdyin lämmön talteenottojärjestelmiin ja energiaa hyödyntäviin järjestelmiin. Avainasiana oli lämpöenergia, jota saadaan ilmasta, vedestä, auringosta ja maasta – vuodenajasta riippumatta. Tämä insinööriä on tietopaketti erilaisista lämmön talteenoton järjestelmistä. Työssäni käytin paljon kirjallisuutta, yritysten kuin muidenkin opinäytetyöntekijöiden laatimista verkkodokumenteista tai opinnäytetöistä.

Tietopaketti on tarkoitettu avuksi suunnittelijoille ja muillekin alasta kiinnostuneille sekä etenkin hanke- ja toteutussuunnittelun vaiheissa. Työtä voidaan käyttää esittelyaineistona taloyhtiöiden edustajille.

Tästä insinööriä voi jatkaa moneen suuntaan. Yhtenä vaihtoehtona on tässä työssä kuvattujen LTO-järjestelmien toteutuskriteerien laatiminen esimerkiksi asuinrakennuksiin. Kaukolämmön rinnalle asennettavat järjestelmät tulevat yhä yleistymään lähitulevaisuudessa.

## Lähteet

- 1 Counterflow plate heat exchangers. Verkkoaineisto. Klingenburg USA. <<http://www.klingenburg-usa.com/products/plate-heat-exchangers/counterflow-plate-heat-exchangers/>>. Luettu 17.12.2017
- 2 Plate heat exchangers. Verkkoaineisto. Klingenburg USA. <<http://www.klingenburg-usa.com/en/knowledge/plate-heat-exchangers/>>. 17.12.2017
- 3 Regeneration – Recuperation. Verkkoaineisto. Klingenburg USA. <<http://www.klingenburg-usa.com/en/knowledge/regeneration-recuperation/>>. Luettu 17.12.2017
- 4 Rotary heat exchangers for heat recovery in ventilation systems. 2011. Verkkoaineisto. Hoval. <[http://www.hovalpartners.com/zoolu-website/media/document/2385/Rotary\\_heat\\_exchangers.pdf](http://www.hovalpartners.com/zoolu-website/media/document/2385/Rotary_heat_exchangers.pdf)>. Luettu 16.3.2018
- 5 Lamellipatteri. Verkkoaineisto. Oy Ecocoil. <[http://www.ekocoil.fi/assets/lamellipatterit\\_uusi\\_pohja.pdf](http://www.ekocoil.fi/assets/lamellipatterit_uusi_pohja.pdf)>. Luettu 16.3.2018
- 6 Terminologia. Verkkoaineisto. Retermia Oy<<http://www.retermia.fi/tuotteet/terminologia/>>. Luettu 2.1.2018
- 7 Harjalämmönsiirrin. Verkkoaineisto. Oy Hydrocell Ltd. <<http://www.hydrocell.fi/lammonsiirtimet/harjalaemmoensiirrintekniikka/>>. Luettu 2.1.2018
- 8 Ilmanvaihdon perusteet. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys Ry. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>>. Luettu 9.1.2018
- 9 Opas Ilmanvaihdosta. Verkkoaineisto. 2016. Hengitysliitto. <<http://www.hometal-koot.fi/file/15934.pdf>>. Luettu 9.1.2018
- 10 Luonnollinen ilmanvaihto. Verkkoaineisto. 2018. Luomura Ry. <[https://www.luomura.com/teemasivuja/new\\_page-150125/](https://www.luomura.com/teemasivuja/new_page-150125/)>. Luettu 16.3.2018
- 11 Taloyhtiön energiakirja. Verkkoaineisto. 2011, Kiinteistöalan kustannus Oy. <[https://issuu.com/mediat/docs/taloyhtion\\_energiakirja](https://issuu.com/mediat/docs/taloyhtion_energiakirja)>. Luettu 20.3.2018
- 12 Korkee, Tuomas. 2017. Asuinkerrostalojen PILP-järjestelmät. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta
- 13 Lahikainen, Sami. 2015. Nestekiertoisen lämmön talteenoton energiatehokkuuden parantaminen. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta

- 14 GEMINI lämpöpumppu. Verkkoaineisto. 2017. Gebwell Oy. <<https://www.gebwell.fi/tuotteet/maalampopumput/gebwell-gemini-maalampopumppu/>>. Luettu 20.3.2018
- 15 Geoenergia. Verkkoaineisto. Geologian tutkimuskeskus. <<http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/geoenergia/>>. Luettu 20.3.2018
- 16 Energiakaivo. Verkkoaineisto. 2013 Ympäristöministeriö. <[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO\\_2013.pdf](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf)>. Luettu 24.3.0
- 17 The geothermal advantage. Verkkoaineisto. 2018. GeoTility. <<http://www.geotility.ca/page.php?1>>. Luettu 25.3.2018
- 18 Maalämmön keruupiiri, osa 2: vaakaputkisto. Verkkoaineisto. Ekolämpö. <<https://ekolampo.fi/maalammon-keruupiiri-osa-2-vaakaputkisto/>>. Luettu 29.3.2018
- 19 Vesistölämpö. Verkkoaineisto. JH-Lämpö Oy. <<http://www.jh-lampo.fi/vesistolampo/>>. Luettu 30.3.2018
- 20 Lämpöä ilmassa. Verkkoaineisto. 2008. Motiva Oy & Suomen lämpöpumppuyhdistys SULPU Ry. <<https://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>>. Luettu 31.3.2018
- 21 Naavatar poistoilman lämmön talteenottojärjestelmä. Verkkoaineisto. 2016. Oilon Oy. <<https://oilon.com/oilon-home/tuotteet/kerrostalon-poistoilman-l%C3%A4mm%C3%B6ntalteenotto/>>. Luettu 31.3.2018
- 22 Ilma-vesilämpöpumppu. Verkkoaineisto. LVI Dimeks Oy. <<http://www.dimeks.fi/ilma-vesil%C3%A4mp%C3%B6pumppu-joensuu>>. Luettu 31.3.2018
- 23 Tietoa ilmalämpöpumpuista. Verkkoaineisto. Thermia Lämpöpumput. <<http://www.thermia.fi/ilmalampopumppu/ilmalampopumppu/tietoa-ilmalampopumpuista/>>. Luettu 31.3.2018
- 24 Jäteveden lämmön talteenotto. Verkkoaineisto. Wasenco Oy. <<http://wasenco.com/jateveden-lammon-talteenotto/>>. Luettu 2.4.2018
- 25 Kalliokuusi, Taru-Tiina. 2016. Energiatehokkuuden parantaminen lämminvesi-intensiivisissä kiinteistöissä. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu. Theseustietokanta
- 26 Energiansäästö. Verkkoaineisto. 2016. Wasenco Oy. <<http://wasenco.com/energiansaasto/>> Luettu 18.4.2018
- 27 Aurinkoenergia. Verkkoaineisto. 2017. Nerowatt Oy. <<http://www.aurinkoenergia.fi/aurinkoenergia.html>>. Luettu 5.4.2018



- 28 Auringonsäteily määrä Suomessa. Verkkoaineisto. 2018. Motiva Oy.  
<[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringonsateilyn\\_maara\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa)>. Luettu 5.4.2018
- 29 Global irradiation and solar electricity potential. Verkkoaineisto. 2017. Huld, Thomas & Pinedo-Pascua, Irene. <[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_download/map\\_index.html#!](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html#!)>. Luettu 5.4.2018
- 30 How does solar works. Verkkoaineisto. New Zealand Home Services.  
<<http://www.nzhomeservices.co.nz/about/how-does-solar-work/>>. Luettu 9.4.2018
- 31 Solar Heater. Verkkoaineisto. 2015. Diana Solar. <<https://www.diana-solar.gr/en/solar-heater/>>. Luettu 9.4.2018
- 32 Building Automation System. Verkkoaineisto. 2016. Iconix Technology Sdn. Bhd.  
<<https://www.iconixtechnology.com/building-automation-system>>. Luettu 10.4.2018
- 33 Jylli, Eero. 2017. Lähes nollaenergiarakentaminen ja rakennusautomaatio. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta
- 34 Experts on renewable energy solutions. Verkkoaineisto. Green Square.  
<<https://www.greensquare.co.uk/tunbridge-wells-energy-centre/>>. Luettu 11.4.2018